

## Анализ эффективности алгоритмов планирования передачи пакета в сетях LTE

А.Н. Земцов<sup>1</sup>, Зунг Хань Чан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет

<sup>2</sup>Национальный экономический университет

**Аннотация:** В работе анализируются различные подходы к планированию, которые входят в состав системы обеспечения качества обслуживания QoS в сетях стандарта LTE в ситуациях перегрузки сети трафиком данных. Использование различных стратегий для различных видов трафика позволяет операторам предлагать различные уровни качества обслуживания для пользователей голосовой связи. Приводятся оценки эффективности алгоритмов планирования передачи пакета.

**Ключевые слова:** LTE, Long-Term Evolution, scheduling algorithms, FIFO, Round Robin, Shortest Job First, Random Early Detection, RED, RR, SJF, QoS, VoIP, CSFB, VoLTE.

Начало XXI века связано с кардинальным изменением транспортных телекоммуникационных сетей – основным видом связи в мире стала мобильная связь. К концу первого десятилетия мобильную связь и беспроводной доступ стали рассматривать как взаимодействующие между собой сети радиодоступа Radio Access Network. GSM EDGE RAN (GERAN), UMTS Terrestrial RAN (UTRAN), Wireless Local Area Network (Wi-Fi) и др. стандарты 3-го поколения являются сетями радиодоступа [1].

В сотовых сетях 3-го поколения пропускная способность каналов связи составила порядка единиц мегабит в секунду. Для получения больших скоростей потребовалось увеличить рабочую полосу пропускания до 20 мегагерц и более, что привело к появлению стандартов 4-го поколения: LTE (Long-Term Evolution) и WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

Стандарт LTE ориентирован только на пакетную передачу трафика на основе технологии HSPA (High Speed Packet Access), впервые реализованной в сетях стандарта UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), и технологии EVDO (Evolution-Data Only), впервые реализованной в сетях

---

стандарта CDMA2000, в основе которых лежит идея использования каналов передачи с общей полосой частот, но с разными псевдослучайными двоичными последовательностями передатчика. Все интерфейсы сети LTE, кроме радиointерфейса, базируются на использовании протокола IP, поэтому сети стандарта LTE относят к IP-сетям [2].

LTE является эволюцией стандарта 3GPP UMTS. LTE включает сеть радиодоступа E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) и новую системную архитектуру EPC (Evolved Packet Core Network).

Сети стандарта LTE ориентированы на использование глобальной пакетной сети GERAN и UTRAN для организации роуминга [3]. Архитектура интегральной сети мобильной связи показана на рисунке 1.

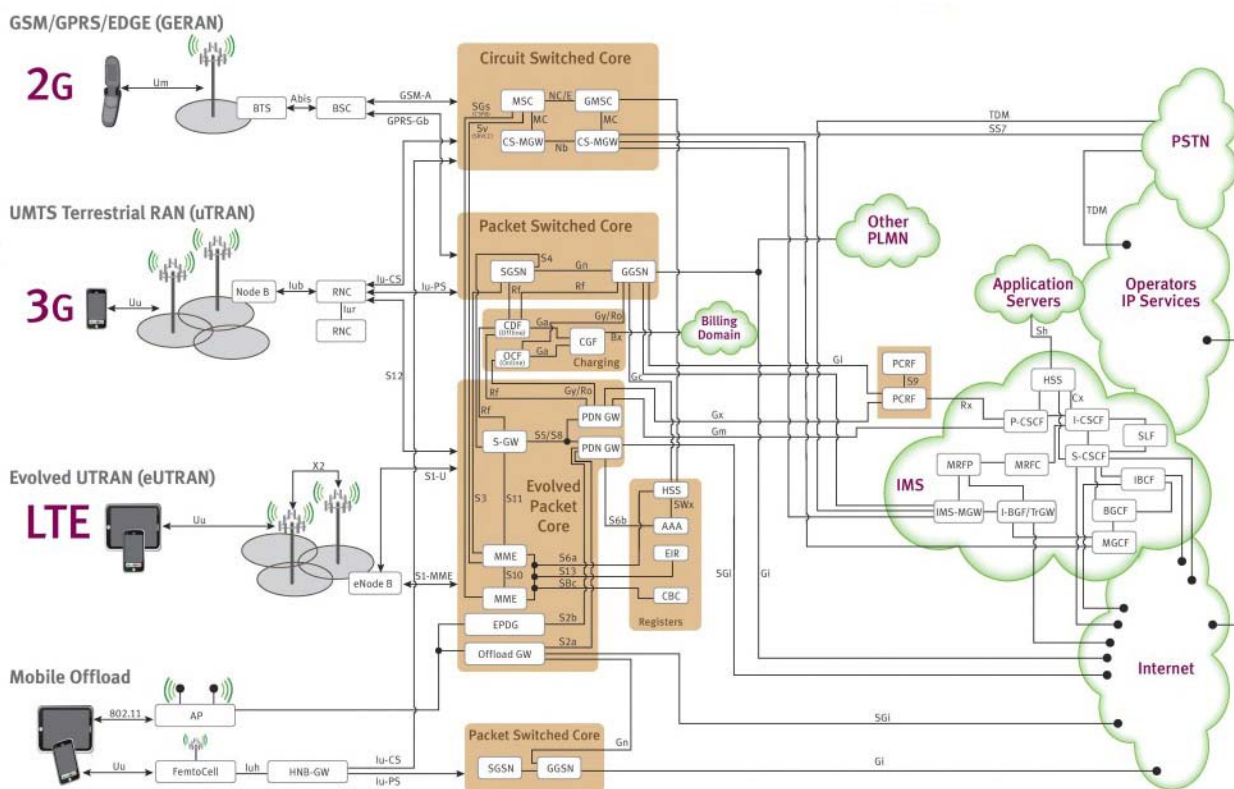


Рис. 1. – Архитектура интегральной сети мобильной связи

Архитектура сети стандарта LTE разрабатывалась таким образом, чтобы обеспечивать передачу пакетного трафика с минимальными задержками доставки показателями качества обслуживания QoS [4]. В связи с

поставленной задачей актуальным является повышение эффективности алгоритмов планирования передачи пакетов в сетях LTE. В процессе обеспечения показателей качества QoS необходимо осуществлять планирование пакета для определения очередности обслуживания пакетов в конкретной очереди [5]. Необходимо отметить, что время планирования играет здесь важную роль [6].

Сети стандарта LTE должны поддерживать процедуры хэндовера и роуминга со всеми существующими сетями, для конечного оборудования необходимо обеспечить повсеместное покрытие услуг беспроводного широкополосного доступа [2, 3].

Пакетная передача позволяет объединить множество сервисов [7], включая передачу голосового трафика с использованием Circuit Switched FallBack (CSFB), Over the top (OTT) и основного Voice over LTE (VoLTE). В отличие от стандартов сетей предыдущих поколений, для которых характерна распределенная сетевая ответственность, архитектура сетей стандарта LTE является плоской, поскольку сетевое взаимодействие происходит между базовыми станциями LTE (eNodeB) и узлом управления мобильностью (Mobility Management Entity, MME), как правило, включающим сетевой шлюз – комбинированные устройства MME/GW.

Методом имитационного моделирования был проведен ряд экспериментов. Количество сгенерированных пакетов  $N = 10^4 \div 10^5$ , размер пакетов генерировался случайным образом. Интенсивность входного потока и интенсивность обслуживания задавались в диапазоне от 0 до 1. Помимо исследования зависимостей среднего времени обработки пакетов, среднего времени ожидания в очереди от различных параметров, особый интерес представляет анализ зависимости среднего времени обслуживания от интенсивности входного потока и зависимости числа обслуженных пакетов от интенсивности входного потока. Были реализованы 4 стратегии

---

обслуживания: FIFO (First In, First Out) или FCFS, RR (Round Robin) [8], SJF (Shortest Job First) [9] и RED (Random early detection) [10]. График зависимости среднего времени обслуживания от интенсивности входного потока показан на рисунке 2, а график зависимости числа обслуженных пакетов от интенсивности входного потока показан на рисунке 3. Результаты получены при заданной вероятности обслуживания 0.5.

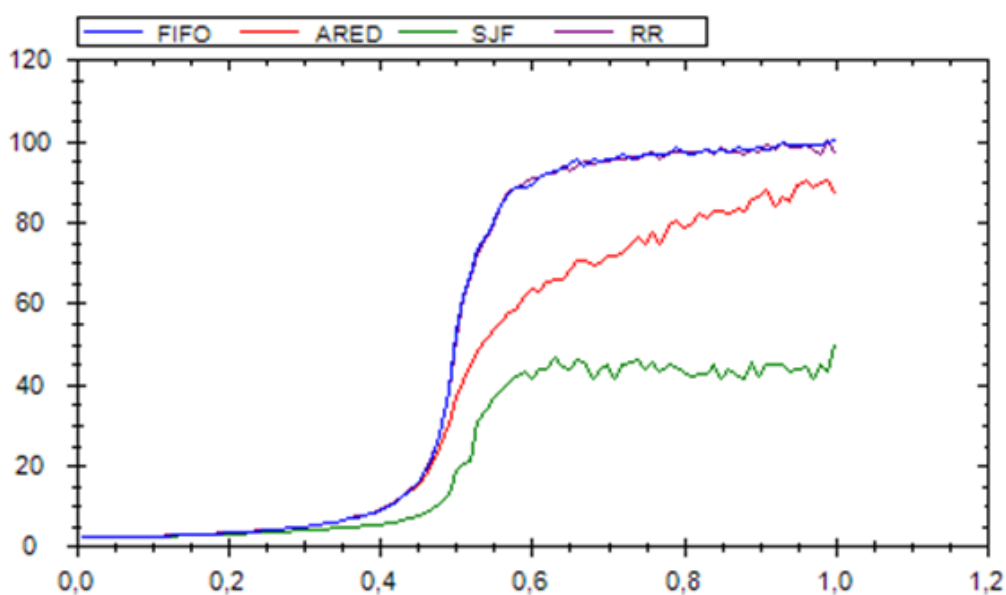


Рис. 2. – График зависимости среднего времени обслуживания пакета от интенсивности входного потока

Стратегия обслуживания SJF позволяет обеспечить наименьшее среднее время обслуживания, это происходит вследствие того, что короткие пакеты проходят вперед в очереди и не ждут пока выполнятся долгие. Графики очередей FIFO и RR также достаточно похожи, очереди при использовании FIFO и RR заполняются весьма быстро. Очереди при использовании стратегии SJF заполняются более плавно. ARED позволяет удерживать очереди не заполненными до конца, поэтому при возникновении перегрузки сетевое устройство может принять дополнительные пакеты и обеспечить требуемый уровень обслуживания, в отличие от других стратегий. Среднее время обслуживания при использовании стратегий FIFO

и RR более, чем в 2 раза превышает идентичный показатель при использовании стратегии SJF. Необходимо отметить, что при других входных значениях, отличие может составлять более, чем в 10 раз.

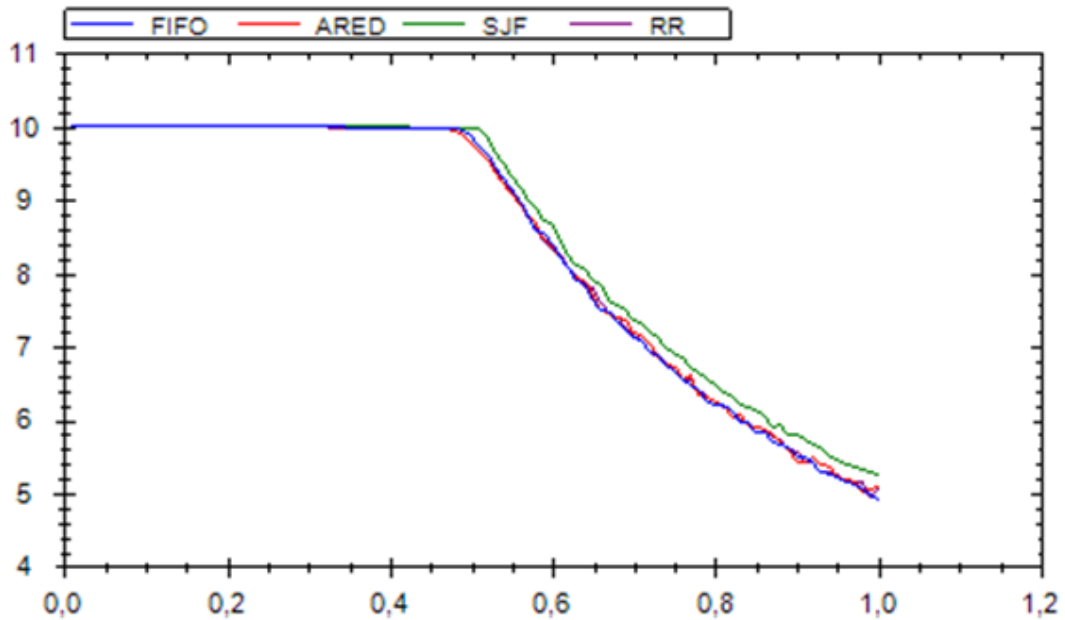


Рис. 3. – График зависимости количества обслуженных пакетов от интенсивности входного потока

На графике зависимости количества обслуженных пакетов от интенсивности входного потока видно, что отказы в обслуживании имеются у всех рассматриваемых стратегий, из-за умеренного заполнения очереди при использовании стратегии SJF данный показатель несколько лучше. Необходимо отметить, что при других входных значениях, количество обслуженных пакетов может отличаться более, чем в 2 раза.

В ходе работы были проанализированы различные подходы к планированию, которые входят в состав системы обеспечения качества обслуживания QoS в сетях стандарта LTE. Анализ алгоритмов планирования показал, что стратегии FIFO и RR имеют самое большое среднее время обслуживания пакета при прочих равных условиях, а использование стратегии SJF позволяет добиться значимых результатов по сравнению с FIFO и RR. Очереди при использовании стратегии SJF заполняются более

плавно, чем при использовании FIFO и RR, а ARED позволяет удерживать очереди не заполненными до конца, поэтому представляет интерес разработка и использование в сетях стандарта LTE комбинированных стратегий обслуживания.

### Литература

1. Zhang X. LTE Optimization Engineering Handbook. Wiley, 2018. 844 p.
2. Mousavi H. LTE physical layer: Performance analysis and evaluation // Applied Computing and Informatics, 2019. Vol. 15(1), pp. 34-44.
3. Asadi A. A survey on device-to-device communication in cellular networks // IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2014. Vol. 16(4). pp. 1801-1819.
4. Седов В.А., Седова Н.А. Самооценка системы менеджмента качества с использованием теории нечетких множеств // Программные системы и вычислительные методы, 2014. № 4. С. 456-463.
5. Шапошников, Д.Е. Применение принципа гарантированного результата для учёта качественной информации о предпочтениях при комплексной оценке качества функционирования телекоммуникационных сетей // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2574.
6. Ажмухамедов И.М., Гостюнин Ю.А. Выбор стратегии технического обслуживания и ремонта оборудования сетей связи на предприятиях нефтегазового комплекса // Инженерный вестник Дона, 2017, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4202.
7. Сироткин А.В., Бархатов Н.И. Модель системы автоматизированного управления информационным обслуживанием // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2021.

8. Rojas-Cessa, R., Oki E. Round-Robin Selection With Adaptable-Size Frame in a Combined Input-Crosspoint Buffered Switch // IEEE Communications Letters, 2003. Vol. 7(11). pp. 555-557.
9. Peckol J. Embedded Systems: A Contemporary Design Tool. Wiley, 2019. 900 p.
10. Floyd S., Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance // IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993. Vol. 1(4). pp. 397-413.

### References

1. Zhang X. LTE Optimization Engineering Handbook. Wiley, 2018. 844 p.
2. Mousavi H. Applied Computing and Informatics, 2019. Vol. 15(1), pp. 34-44.
3. Asadi A. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2014. Vol. 16(4). pp. 1801-1819.
4. Sedov V.A., Sedova N.A. Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody, 2014. № 4. pp. 456-463.
5. Shaposhnikov, D.E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2574](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2574).
6. Azhmuamedov I.M., Gostjunin Ju.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4202](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4202).
7. Sirotkin A.V., Barhatov N.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2021](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2021).
8. Rojas-Cessa, R., Oki E. IEEE Communications Letters, 2003. Vol. 7(11). pp. 555-557.
9. Peckol J. Embedded Systems: A Contemporary Design Tool. Wiley, 2019. 900 p.



10. Floyd S., Jacobson V. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993. Vol. 1(4). pp. 397-413.